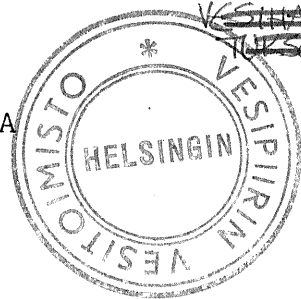


VESIHALLITUKSEN MONISTESARJA

1982 : 129

KAJAANI OY:N SULFIITTISELLU -JA
PAPERITEHTAAN JÄTEVESIEN VAIKUTUKSET
VASTAANOTTAVAN VESISTÖN BAKTEERI-
TOIMINTAAN

Tuija Talsi



1982 : 129

KAJAANI OY:N SULFIITTISELLU -JA
PAPERITEHTAAN JÄTEVESIEN VAIKUTUKSET
VASTAANOTTAVAN VESISTÖN BAKTEERI-
TOIMINTAAN

Tuija Talsi

KAJAANI OY:N SULFIITTISELLU- JA PAPERITEHTAAN JÄTEVESIEN
VAIKUTUKSET VASTAANOTTAVAN VESISTÖN BAKTEERITOIMINTAAN

S I S Ä L L Y S L U E T T E L O

	sivu
ALKULAUSE	5
1. JOHDANTO	7
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	7
2.1 Tutkimusalue ja sen kuormitus	7
2.2 Näytteenotto ja tutkimusmenetelmät	8
2.3 Myrkyllisyystestien koejärjestely	11
3. TULOKSET	11
3.1 Fysikaalis-kemialliset havainnot	11
3.2 Bakteeri- ja levätoiminta tutkimusalueella	15
3.3 Muuttujien väliset korrelaatiot	21
3.4 Myrkyllisyystestit	23
4. TULOSTEN TARKASTELU	25
4.1 Jäteveden myrkyllisyys	25
4.2 Jäteveden vaikutusten laajuus tutkimus- alueella	27
4.3 Bakteeriaktiivisuuden mittausmenetelmien arviointi	29
5. TIIVISTELMÄ	31
KIRJALLISUUS	32

ALKULAUSE

Tutkimukset rahoitettiin Kajaani Oy:n vesihallitukselle maksamalla vesiensuojelumaksuvaroilla. Tutkimus on osa vesihallituksessa tehtävästä kehittälytyöstä, jossa jätevesien vesistövaikutuksia pyritään selvittämään useilla rinnakkaisilla toksisuustestimenetelmillä.

Tämän tutkimuksen yhteydessä tehtiin myös pitkäaikaisaltistus kirjolohella, ja tässä tapauksessa tutkimuksilla kerättiin myös tausta-aineistoa Kajaani Oy:n tehtailla v. 1982 toteutettavien prosessimuutosten vaikutuksista vesistön tilaan. Tutkimuksen tuloksilla on osallistuttu Nordforskin koordinoimaan yhteis-pohjoismaiseen projektiin "Ekotoxikologiska metoder i akvatisk miljö" 1979-1982.

1 J O H D A N T O

Selluteollisuuden jätevesillä on todettu olevan sekä bakteeritoimintaa kiihdyttäviä että lamaanuttavia vaikutuksia. Jätevesien myrkyvaikutuksia on tutkittu laboratorio-oloissa suoritetuissa myrkyllisyystesteissä (Lahti 1980, Kuparinen 1981, Talsi 1981). Huolimatta siitä, että näissä myrkyllisyystesteissä jätevedet hidastivat bakteeritoimintaa, oli itse purkualueella mitattu toiminta hyvin vilkasta. Jätevesien ei siis ole todettu lamaanuttavan vastaanottavan vesistön bakteeritoimintaa ja sen myötä hidastavan orgaanisen aineen hajoamista vesistössä (vrt. Sibert ja Brown 1975).

Vesihallituksen Kyläsaaren laboratoriossa tehtiin vuonna 1980 alustavia kokeita Kajaani Oy:n sulfiittisellu- ja paperitehtaan jätevesien vaikutuksista purkualueen bakteerien toimintakykyyn. Tutkimuksissa kävi ilmi, että jätevedet saattavat lamaanuttaa bakteeritoimintaa purkuputken välittömässä läheisyydessä, mutta kiihdyttää sitä voimakkaasti etäisemmällä vesialueella. Jäteveden myrkyllisyys vaikutti suhteellisen voimakkaalta, sillä purkuputken suulla ei bakteeritoimintaa voitu mitata juuri lainkaan (M. Niemi, suullinen tiedonanto).

Tämän, vuonna 1981 suoritettun tutkimuksen tarkoituksena oli täsmentää havaintoja, joita Kajaani Oy:n sulfiittisellu- ja paperitehtaan jätevesien vaikutuksista oli jo tehty. Pääasiallisesti haluttiin selvittää oletettujen myrkyvaikutusten laajuus purkuvesistönä toimivassa Kajaaninjoessa. Työssä tarkasteltiin myös purkuvesistön levätoimintaa, jonka aikaisemmin tehtyjen tutkimusten perusteella tiedetään lamaanutuneen melko laajalla alueella sellutehtaan alapuolisessa vesistössä (Vesihallitus 1977). Lisäksi sellutehtaan jätevesien myrkyllisyyttä selvitettiin erityisissä myrkyllisyystesteissä, joissa tutkittiin bakteeritoiminnan vilkkautta erilaisissa jätevesipitoisuuksissa.

2 A I N E I S T O J A M E N E T E L M Ä T

2.1 TUTKIMUSALUE JA SEN KUORMITUS

Tutkimusalueeseen kuului Kajaaninjoen alajuoksu, Paltajärvi ja Paltaselän eteläosa (kuva 1). Kajaaninjoen keskivirtaama (MQ) on pitkäaikaisten keskiarvojen (v. 1961-1975) mukaan $92 \text{ m}^3/\text{s}$, ja keskiyli- (MHQ) ja keskialivirtaama (MNQ) vastaavasti $220 \text{ m}^3/\text{s}$ ja $23 \text{ m}^3/\text{s}$ (Vesihallitus 1980). Joki on Kajaanin kaupungin alapuolella suhteellisen kapea ennen kuin se laajenee Paltajärveksi ja laskee Oulujärven Paltaselälle (kuva 1). Kajaaninjoki on suhteellisen syvä jätevesien purkualueutta lukuun ottamatta. Väylän syvyys vaihtelee 6 - 18 m:n välillä.

Sellu- ja paperitehtaan jätevedet purkautuvat Kajaaninjokeen Kajaanin kaupungin alapuolella (kuva 1). Jätevedet kulkevat selkeytysaltaiden kautta ennen kuin ne joutuvat vesistöön. Kaupungin noin 30 000 asukkaan jätevedet käsitellään kemiallisessa puhdistamossa, kalkkisaostuslaitoksessa, ennen kuin ne lasketaan Kajaaninjokeen jonkin matkaa tehtaan purkuputken alapuolelle. Kajaani Oy:n ja Kajaanin kaupungin jätevesien aiheuttama keskimääräinen kuormitus on esitetty taulukossa 1 (Kainuun vesipiiri, julkaisemattomia tietoja).

Taulukko 1. Kajaaninjoen jätevesikuormitus v. 1980

		<u>Kajaani Oy</u>	<u>Kajaanin kaupunki</u>
Kiintoaine	kg/d	9 900	794
BHK ₇	kg/d	39 800	374
Fosfori	kg/d	45	16,6
Typpi	kg/d	199	345
Vesimäärä	m ³ /d	145 000	13 820
Jäteveden pH (keskimäärin)		2 - 4	10 - 12

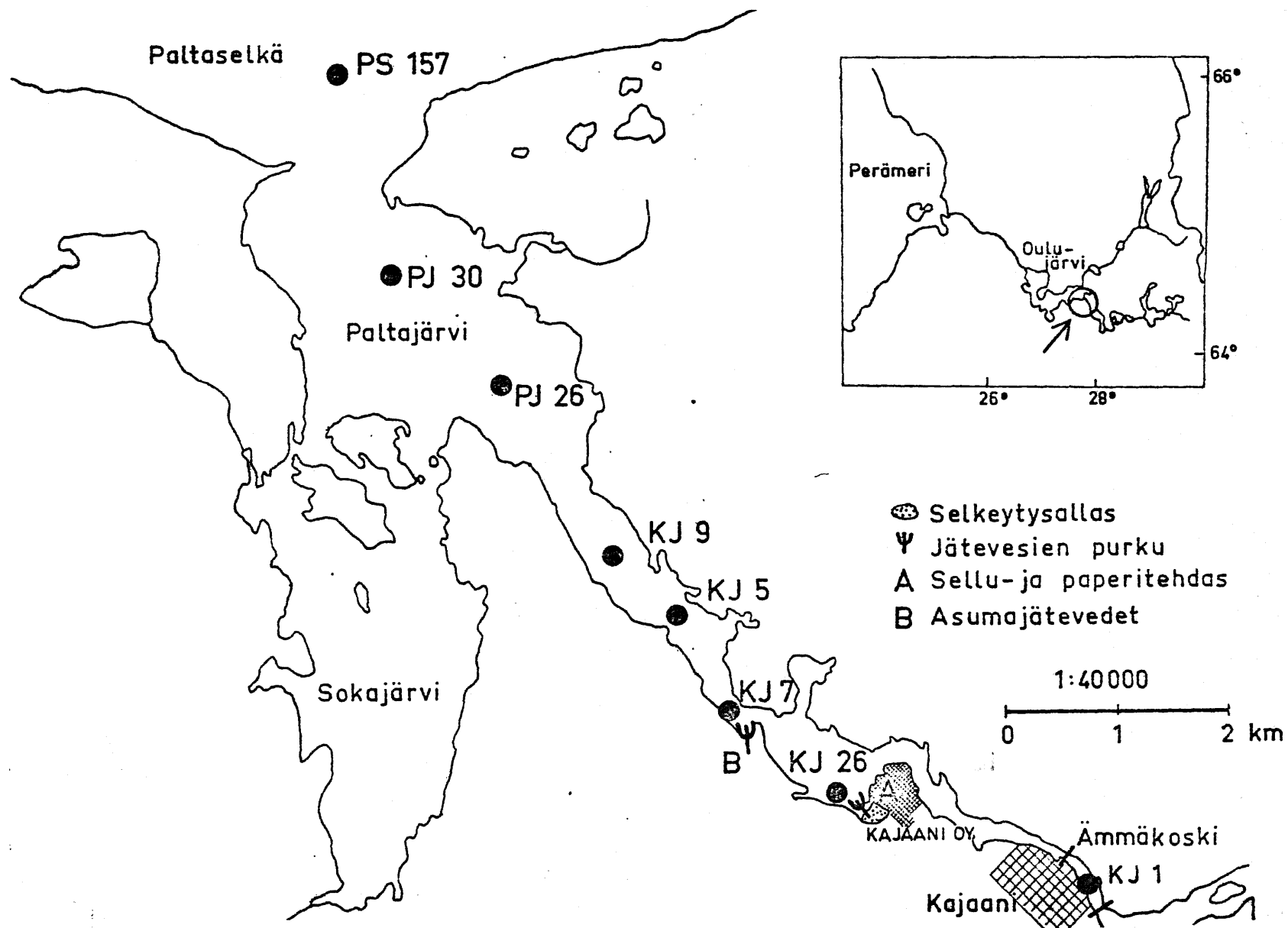
Tutkimusta varten valittiin alueen vesistötarkkailupisteiden (Kainuun vesipiiri) joukosta kahdeksan havaintopistettä, jotka sijaitsivat eri etäisyyksillä Kajaani Oy:n tehtaasta. Havaintopiste KJ 26 (ks. kuva 1) sijaitsi aivan sellutehtaan jätevesien purkuputken suulla; etäisyyttä oli vain 100 - 200 m. Piste KJ 7 puolestaan sijaitsi kaupungin asumajätevesien purkuputken läheisyydessä. Kaukaisin havaintopiste Paltaselällä, PS 157, oli runsaan 8 km:n päässä tehtaan purkuputkesta. Vertailupisteinä toimi KJ 1 Ämmäkosken niskassa, jätevesien purkupaikan yläpuolella.

2.2 NÄYTTEENOTTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimusjakson (elo-syyskuu 1981) aikana vesistönäytteitä otettiin kolmesti: 24.8., 9.9. ja 21.9. Näytteet otettiin Ruttner- noutimella 1 m:n syvyydestä; perustuotantokyvyn määrittystä varten otettiin kuitenkin kokoomanäytteet 0 - 2 m:n syvyydestä putkinoutimella.

Vesistönäytteistä tutkittiin Kainuun vesipiirin vesilaboratoriossa seuraavat fysikaalis-kemialliset ja biologiset muuttujat: happipitoisuus, sameus, kiintoainepitoisuus, sähkönjohtavuus, alkaliniteetti, pH, väri, COD_{KMnO₄},

Kuva 1. Tutkimusalue



kokonaistyyppi, kokonaisfosfori, perustuotantokyky, klorofylli ja lignosulfonaattipitoisuus. Vesihallituksen tutkimuslaboratoriossa määritettiin lisäksi 24.8. otetuista näytteistä niiden hartsihappopitoisuus sekä tetra- ja pentakloorifenolien (TCP ja PCP) määrä. Kaikissa määrittäyksissä noudatettiin vesihallituksen käyttämiä menetelmiä (Erkomaa ja Mäkinen 1975, Erkomaa ym. 1977). Näiden määritysten lisäksi tehtiin Åbo Akademiassa Holmbomin (1980) menetelmällä erityistutkimus, jossa määritettiin eräiden puunjälöstusteollisuuden jätevesien sisältämien myrkyllisten yhdisteiden pitoisuus purkuvesistössä ja tehtaan jätevedessä. Näytteet tätä tutkimusta varten otettiin 21.9.

Kaikista vesistönäytteistä mitattiin bakteerien toimintakyky eli heterotrofisten bakteerien aktiivisuus. Tutkimuksessa käytettiin kahta radioglukoosimenetelmän muunnelmaa: kyllästystaso- ja luonnontasomenetelmää (vrt. Kuparinen 1980).

Kyllästystasomenetelmässä lisättiin tutkittaviin näytteisiin (10 ml) ^{14}C -leimattua glukoosia siten, että lisäyksen pitoisuudeksi tuli $42 \mu\text{g/l}$, viimeisellä tutkimuskerralla kuitenkin $84 \mu\text{g/l}$. Erityiskokeen avulla pyrittiin varmistamaan, että tämä lisäystaso olisi riittävän korkea (kyllästystaso). Näytteitä inkuboitiin 2 tuntia 12°C :ssa, minkä jälkeen ne suodatettiin $0,2 \mu\text{m}$:n suodatinkalvoille, bakteerisoluihin sitoutuneen ^{14}C -aktiivisuuden määrä mitattiin liuottamalla kalvot 2 ml:aan dioksaania, minkä jälkeen lisättiin tuikeliuos (8 ml PCS) ja radioaktiivisuus mitattiin nestetuikelaskennan avulla. Tuloksista laskettiin glukoosin maksimaalinen ottonopeus V_m' - eli heterotrofinen potentiaali- seuraavasti:

$$V_m' = \frac{c}{C_{ut}} \times A$$

V_m' = glukoosin maksimaalinen ottonopeus ($\mu\text{g} / 1 \text{ h}$)
 c = mitattu radioaktiivisuus (dpm)
 C_u = lisätty radioaktiivisuus (dpm)
 t = inkubointiaika (h)
 A = lisätty glukoosipitoisuus ($\mu\text{g} / \text{l}$)

^{14}C -glukoosia käytettäessä mitattiin näytteistä lisäksi bakteerisolujen hengittämän glukoosin osuus (R %) Kuparisen ja Uusi-Rauvan (1980) kuvailemalla menetelmällä.

Luonnontasomenetelmässä käytettiin ^3H -leimattua glukoosia, jota lisättiin 50 ml:n näytteisiin hyvin pienenä pitoisuutena $0,05 \mu\text{g/l}$. Soluihin kertyneen radioaktiivisuuden perusteella laskettiin glukoosin kiertoaika T ja sen käänteisarvo $1/T$ eli kiertonopeus:

$$T = \frac{C_{ut}}{c} ; \quad 1/T = \frac{c}{C_{ut}} \quad T = \text{kiertoaika (h)}$$

$1/T = \text{kiertonopeus (1/h)}$

Kun kiertonopeuden lukuarvo kerrotaan sadalla, se ilmaisee prosenttiosuuden, jonka näyteveden bakteerit ovat tunnin aikana käyttäneet näytteeseen lisätystä glukoosimäärästä (%/h).

Näytteitä käsiteltiin samalla tavoin kuin kyllästystasomenetelmän yhteydessä, mutta kalvot poltettiin Junitek Oy:n polttolaitteessa, jossa ^3H -aktiivisuus kerätään suoraan PCS tuikeliuokseen (7,4 ml PCS + 2,6 ml H_2O).

2.3 MYRKYLLISYYSTESTIEN KOEJÄRJESTELY

Myrkyllisyystestit tehtiin ainoastaan viimeisellä havaintokerralla (21.9). Testejä varten otettiin vesistönäytteet kolmesta havaintopisteestä KJ 1 (vertailupiste), KJ 9 ja PJ 30, ja sellu- ja paperitehtaan jätevesien vaikutuksia tutkittiin näiden havaintopisteiden bakteeriston avulla. Tutkittava jätevesi oli neutraloimatonta, mutta havaintopisteen PJ 30 kohdalla tehtiin myös erikseen koesarja, jossa jäteveden pH säädettiin 6,5:een ennen kokeiden aloittamista.

Jätevesien vaikutuksia tutkittiin mittaamalla sekä glukoosin maksimaalista ottonopeutta että kiertonopeutta. Kummassakin menetelmässä käytettiin poikkeuksellisesti 40 ml:n näytilavuutta. Näihin näytteisiin lisättiin ennen radioglukoosilisäystä 10 ml tehtaan jätevettä tai sen laimennusta siten, että jätevesipitoisuudet olivat 10-, 1-, 0.1- ja 0 %. Muilta osin näytteitä käsiteltiin samalla tavoin kuin vesistömittausten yhteydessä. Hengitysmittauksia ei tehty myrkyllisyystestien yhteydessä (^{14}C -menetelmä).

3 T U L O K S E T

3.1 FYSIKAALIS - KEMIALLISET HAVAINNOT

Seuraavassa käsitellään tärkeimpiä havaintoja, joita fysikaalis-kemiallisista mittaustuloksista voidaan tehdä. Kaikki alkuperäiset tulokset on esitetty taulukossa 2.

Veden lämpötila oli melko tasainen koko tutkimusalueella: sellu- ja paperitehtaan jätevedellä oli vain vähän vaikutuksia tässä suhteessa. Sen sijaan hapen kyllästysprosentti oli pisteen KJ 26 pintavedessä selvästi alentunut (51 - 59 %), kun virtaavassa Ämmäkoskessa kyllästystaso oli ollut 88 - 94%. Purkualueen alapuolisella jokiosuudella pintaveden hapen kyllästystaso oli myös lievästi alentunut, keskimäärin kyllästysprosentti oli 70-80 %. Kerran (21.9.) tosin Paltajärvessä ja Paltaselällä mitattiin vain 60-65 %:in taso. Kaupungin jätevesillä ei näyttänyt olevan vaikutuksia hapen kyllästysprosenttiin pisteessä KJ 7.

Sellu- ja paperitehtaan happamat jätevedet vaikuttivat voimakkaasti Kajaaninjoen veden pH-arvoihin. KJ 26:ssa pH oli alhainen, 3,5 - 4,0, kun Ämmäkoskessa se vaihteli välillä 6,3 - 6,5. Purkuputken alapuolisella vesistöosueella pH kohosi siten, että Paltaselällä mitattiin pH-arvoja 5,5 - 6,6. Alhainen pH-arvo (5.5) Paltaselällä liittyi 21.9. mitattuun alhaiseen hapen kyllästysprosenttiin, joten oletettavasti tällä havaintokerralla jätevesien vaikutukset ilmenivät näinkin kaukana purkuputkesta. Kaupungin jätevesien korkea pH vaikutti ajoittain pisteen KJ 7 arvoihin (vrt. 9.9. -havaintokerta). Alkaliniteetin vaihtelut liittyivät kiinteästi pH:n vaihteluihin. Pisteeseen KJ 26 arvoa ei voitu mitata lainkaan veden alhaisen pH:n vuoksi.

Veden kiintoainepitoisuuden ja sameuden vaihtelu tutkimusalueella oli hyvin samankaltaista. Ämmäkoskessa kiintoainepitoisuus oli 1 - 1,2 mg/l, mutta pisteessä KJ 26 peräti 8 - 14 mg/l. Samalla tavoin sameusarvot kohosivat jätevesien vaikutuksista noin 10 - 20 -kertaisiksi. Tehtaan purkuputken alapuolisessa vesistössä arvot pysyivät melko tasaisina, mutta eivät Paltaselälläkään saavuttaneet Ämmäkoskessa mitattuja alhaisia arvoja.

Sellu- ja paperitehtaan jäteveden vaikutukset jokiveden sähkönjohtavuuteen (2,7 - 2,9 mS/m) olivat huomattavat vain purkuputken välittömässä läheisyydessä. Jokiveden väriin (60 - 70 mg Pt/l) jätevesi vaikutti suhteellisen vähän, sillä tutkimusalueen vesi on luonnontilaisenakin humuspitoista ja tunmaa. Kemiallisessa hapentarpeessa (COD_{Mn}) jäteveden vaikutukset näkyivät hyvin selvästi pisteessä KJ 26, jossa arvot vaihtelivat välillä 55 - 64 mg KMnO_4/l eli olivat noin 5-kertaiset Ämmäkosken arvoihin verrattuna. Tehtaan alapuolisessa vesistössä COD_{Mn} pieneni tasaisesti, mutta oli Paltaselällä yhä jonkin verran suurempi kuin Ämmäkoskessa.

Ravinteista kokonaistypen määrä vaihteli tutkimusalueella vain vähän ja melko epäsäännöllisesti. Kokonaisfosforipitoisuudet olivat selvästi suurimmat sellutehtaan jätevesien purkuputken suulla, mutta kaupungin asumajätevesien vaikutuksia ei sen sijaan voitu selkeästi havaita pisteessä KJ 7. Paltajärvessä ja Paltaselällä fosforipitoisuudet (17 - 23 $\mu\text{g}/\text{l}$) olivat yhä suuremmat kuin Ämmäkoskessa (11 - 17 $\mu\text{g}/\text{l}$).

Lignosulfonaattipitoisuus kuvastaa lähes yksinomaisesti sellutehtaan jätevesiä ja niiden leviämistä purkualueella. Pisteessä KJ 26 pitoisuudet olivat peräti 40 - 71 mg/l, eli monikymmenkertaiset verrattuna Ämmäkosken pitoisuuksiin (1 - 1,5 mg/l). Lignosulfonaattien määrä väheni tasaisesti alempana purkuvesistössä, mutta oli vielä Paltaselällä suurempi (3 - 5,5 mg/l) kuin Ämmäkoskessa. Suurin Paltaselän lignosulfonaattipitoisuus, 4,5 mg/l, mitattiin 21.9.,

Taulukko 2. Fysikaalis-kemiallisten määritysten tulokset

		Lämpötila (°C)	Happy (kyl.%)	Sameus (FTU)	Kiintoaine (mg/l)	Sähköjohta- vuus (mS/m)	Alkaliniteet- ti (mval/l)	pH	Väri (mg Pt/l)	COD (mg KMnO ₄ /l)	Kok. N (µg/l)	Kok. P (µg/l)	Lignosulfo- naatti (mg/l)	Klorofylli a (µg/l)	Perustuotan- tokyky (mg C/m ³ /d)	V _m (µg/l h)	R %	1/T x 100 (%/h)	Hartsihapot (mg/l)	PCP (µg/l)	TCP (µg/l)
24.8.1981																					
KJ	1	15,4	94	0,47	1,0	2,7	0,13	6,4	70	11,6	540	11	1,0	4,0	260	+	+	0,53	0,5	0,01	0,02
KJ	26	16,3	59	6,7	8,0	20,2	-	3,6	100	64,3	500	60	40,5	4,9	+	+	+	+	0,5	3,2	5,0
KJ	7	15,7	91	2,1	4,8	6,1	-	4,7	80	27,3	410	30	7,0	4,5	15	+	+	0,02			
KJ	9	15,5	87	0,91	1,4	3,5	0,11	5,9	70	15,2	390	16	3,5	5,0	170	0,316	38	0,70			
PJ	30	15,5	70	1,2	2,3	3,7	0,13	5,7	80	16,7	450	21	6,0	4,2	66	4,87	53	11,9	0,5	0,10	0,11
PS	157	15,5	76	0,86	5,0	4,0	0,11	6,1	70	13,2	420	18	3,0	4,3	160	5,35	37	12,1	0,5	0,06	0,06
9.9.1981																					
KJ	1	12,1	88	0,47	1,2	2,8	0,13	6,5	60	10,9	390	12	1,0	4,0	190	0,259	39	1,52			
KJ	26	14,0	54	6,4	13,6	13,3	-	4,0	100	58,9	700	57	71,0	4,1	+	0,024	22	+			
KJ	7	12,6	83	1,0	2,1	3,9	0,10	6,0	70	16,4	510	18	5,0	3,6	170	0,721	39	0,99			
KJ	5	12,8	90	1,5	2,1	4,6	0,08	5,7	70	20,2	490	22	8,5	4,1	120	0,238	42	0,35			
KJ	9	13,0	76	1,3	2,5	4,4	0,10	6,0	80	19,2	500	21	8,0	3,5	130	1,39	38	1,76			
PJ	26	13,0	73	1,3	2,5	4,2	0,14	6,1	80	17,5	430	23	5,5	3,4	240	3,27	36	4,54			
PJ	30	12,8	74	1,1	1,9	4,0	0,10	6,1	80	16,2	320	21	4,0	4,2	230	8,90	35	10,1			
PS	157	12,7	94	0,53	1,1	3,3	0,13	6,6	60	12,1	360	17	2,0	6,8	370	0,442	32	3,48			
21.9.1981																					
KJ	1	10,3	92	0,63	1,0	2,9	0,12	6,3		10,9	760	17	1,5	6,0	240	0,141	42	2,29			
KJ	26	11,7	51	12,0	14,0	26,5	-	3,5		54,7	690	83	57,5	6,2	+	+	+	0,02			
KJ	7	10,5	81	1,8	3,2	5,1	0,02	5,0		21,0	560	24	9,0	5,8	13	+	+	0,06			
KJ	9	10,3	80	1,5	2,4	4,2	0,08	5,7		17,2	920	21	6,0	5,5	120	0,244	42	0,29			
PJ	30	10,2	60	1,1	2,2	4,2	0,09	5,8		15,9	470	21	4,5	3,8	120	8,02	36	7,25			
PS	157	10,1	65	1,2	2,4	4,2	0,09	5,5		15,9	560	23	4,5	3,9	250	5,50	37	5,92			

jolloin veden pH ja hapen kyllästysprosentti olivat poikkeuksellisen alhaiset. Havainto tukee jälleen oletusta, jonka mukaan 21.9. -havaintokerralla jätevesipitoisuus oli varsin suuri näinkin kaukana purkupuutkesta.

Hartsihappojen määrittämisessä käytetty menetelmä ei ollut riittävän tarkka erottelemaan tutkittujen havaintoalueiden pitoisuuksia. Havaintopisteiden välillä ei näennäisesti ollut mitään eroja, ja Ämmäkoskessa ja tehtaan purkualueella hartsihappojen määrä oli alle 0,5 mg/l. Sen sijaan kloorattujen fenolien määrässä oli suuriakin eroja. Havaintopisteessä KJ 26 määritettiin pentakloorifenolia (PCP) 3,2 µg/l ja tetrakloorifenolia (TCP) 5,2 µg/l, kun näiden yhdisteiden pitoisuus vertailualueella Ämmäkoskessa oli vain 0,01 - 0,02 µg/l. Paltajärvessä pitoisuudet olivat vielä 10- ja 5-kertaiset näihin verrattuna, ja vielä Paltaselälläkin suuremmat (0,06 µg/l) kuin vertailualueella.

Tulokset Åbo Akademiassa suoritetuista erityismäärittämisistä on esitetty taulukossa 3. Tutkimusmenetelmät ovat tässä tapauksessa olleet riittävän herkkiä, vaikka vertailualueella (KJ 1) sekä Paltaselällä ja Paltajärvessä useiden hartsihappojen ja kloorattujen fenolien pitoisuudet ovatkin jääneet tarkkuusrajojen alapuolelle. Vertailualueella ei hartsihappoja ja kloorattuja fenoleja esiintynyt, mutta rasvahappoja sen sijaan jonkin verran. Tehtaan purkualueella (KJ 26) hartsihappojen yhteispitoisuus oli noin 600 µg/l, josta lähes puolet, 270 µg/l, koostui dehydroabietiinihaposta. Tehtaan jätevedessä pitoisuudet olivat luonnollisesti vielä tätäkin suuremmat, yhteensä noin 1 600 µg/l. Hartsihappopitoisuudet vähenivät tasaisesti joen alajuoksulla, ja Paltaselällä yhteispitoisuus oli enää noin 10 µg/l. Samalla tavoin vaihtelivat rasvahappopitoisuudet, ja Paltaselällä päästiin lähelle vertailualueen pitoisuuksia.

Kloorattuja fenoleita ja muita kloorautuneita yhdisteitä mitattiin tehtaan jätevedestä yhteensä noin 100 µg/l ja purkualueelta (KJ 26) noin 25 µg/l. Näiden yhdisteiden pitoisuus aleni Kajaaninjoessa melko nopeasti, ja pisteessä KJ 9 useiden määrät jäivät alle mittaustarkkuuden (0,1 µg/l).

Taulukko 3. Rasva- ja hartsihapot, neutraaliaineet ja klooratut yhdisteet Kajaani Oy:n tehtaan jätevedessä ja purkuvesistössä 21.9.1981

Yhdiste	Pitoisuus ($\mu\text{g/l}$)						
	KJ 1	Jätevesi	KJ 26	KJ 7	KJ 9	PJ 30	PS 157
Palmitiinihappo	28	81	39	18	14	26	25
Linoleenihappo	3	83	36	-	1	-	-
Linolihappo	6	141	60	7	5	4	5
Öljyhappo	28	267	88	19	12	17	21
Steariinihappo	12	7	4	9	3	8	7
Pimaarihappo	-	82	24	3	3	3	3
Sandarakopimaarihappo	-	75	37	1	1	-	-
Isopimaarihappo	-	217	120	5	5	3	2
Palustriinihappo	-	15	-	-	-	-	-
Dehydroabietiinihappo	-	725	270	13	13	11	9
Abietiinihappo	-	480	175	6	10	3	2
Neoabietiinihappo	-	31	-	-	-	-	-
Sitosteroli	-	90	40	10	8	6	7
Betulinoli			15				1
Trikloorifenoli	0,2	10	3	0,7	0,3	0,3	0,2
Tetrakloorifenoli	-	7,5	1	0,4	0,2	0,2	0,1
Triklooriguaajakoli	-	13	3	0,5	0,1	0,1	0,1
Tetraklooriguaajakoli	-	19	1	0,3	0,1	0,1	0,1
Trikloorikatekoli	-	26	11	0,9	0,1	0,2	0,1
Pentakloorifenoli	0,2	18	0,5	0,3	0,1	0,2	0,1
Tetrakloorikatekoli	-	22	10	1,2	0,3	0,1	0,1

3.2 BAKTEERI- JA LEVÄTOIMINTA TUTKIMUSALUEELLA

Biologisten muuttujien (perustuotantokyky, klorofylli a, glukosin maksimaalinen ottonopeus V_m' , hengitysosuus R % ja kiertonopeus $1/T$) mittaustulokset on myös esitetty taulukossa 2. Näiden tulosten perusteella on perustuotantokyvystä ja bakteeriaktiivisuusmuuttujista piirretty kuvaajat 2, 3 ja 4; kuvat havainnollistavat vaihtelua, joka esiintyi tutkimusalueella näissä muuttujissa.

Kyllästystasomenetelmän yhteydessä tehtiin erilliskokeita, joiden tarkoituksena oli varmistaa glukosin lisäyksen riittävyys (so. kyllästystaso). Näissä kokeissa kävi kuitenkin ilmi, että kyllästystasoa ei saavutettu edes $84 \mu\text{g/l}$ -glukoosilisäyksellä. Riittävä lisäys oli arvioitu merialueilta saatujen kokemusten mukaan (Talsi ja Rekolainen 1982), ja kuormitetulla Kajaaninjoen alueella veden glukosipitoisuus olikin odotettua suurempi. Tämän vuoksi mitatut V_m' -arvot eivät ole täysin oikeita, sillä menetelmän teoreettiset perusteet eivät tulleet täytetyiksi. Tulokset ovat kyllä keskenään

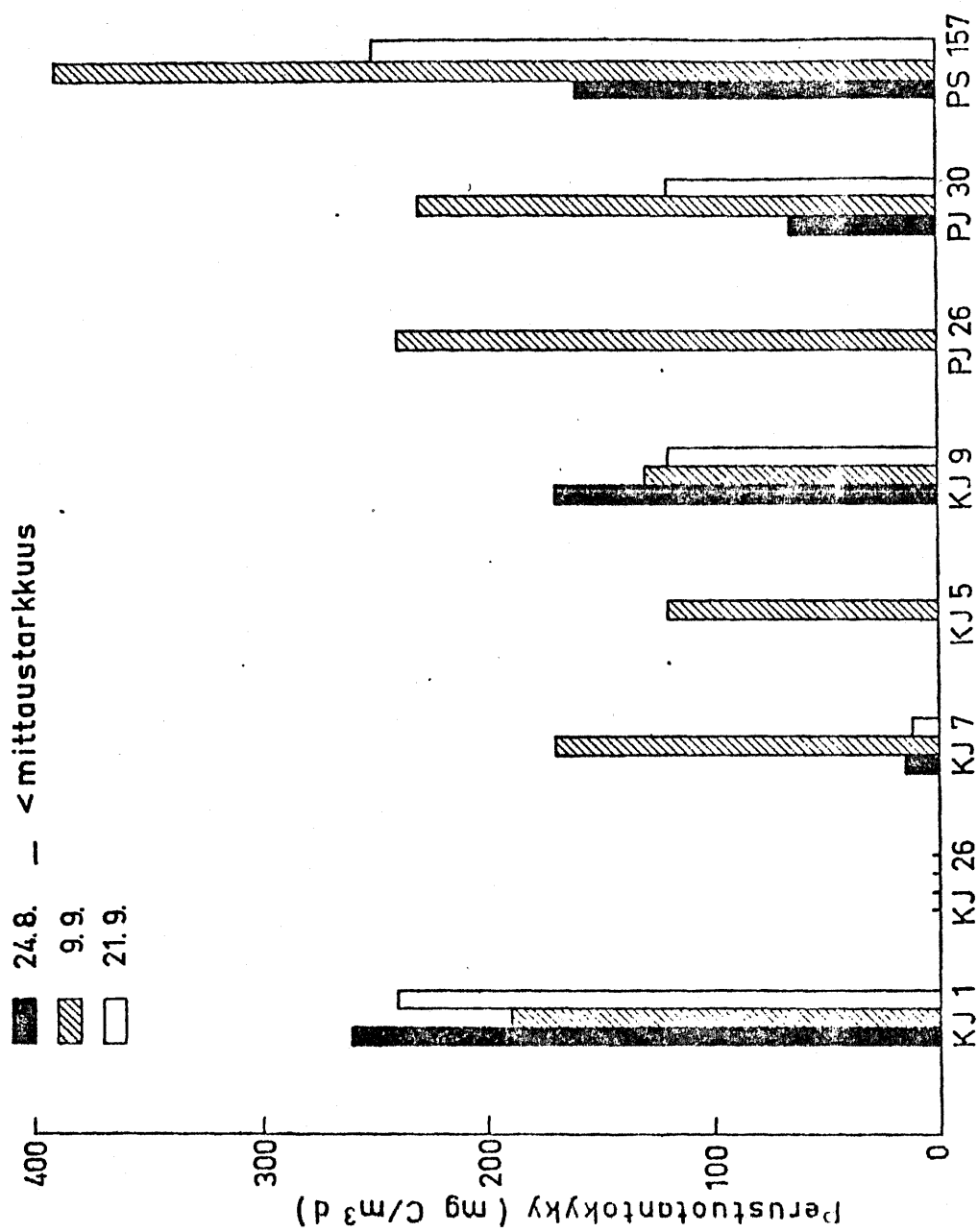
vertailukelpoisia, mutta muiden tutkimusten kanssa niitä ei voi verrata.

Ensimmäisellä havaintokerralla (24.8.) bakteeritoiminta Ämmäkosken vertailupisteessä KJ 1 oli varsin vähäistä. Glukoosin ottonopeutta (V_m') ei voitu luotettavasti mitata, sillä näytteiden radioaktiivisuus jäi liian alhaiseksi. Glukoosin kiertonopeus oli myös suhteellisen alhainen, vain 0,53 % lisäystä pitoisuudesta. Perustuotantokyky sen sijaan oli melko korkea, $260 \text{ mg C/m}^3 \text{ d}$.

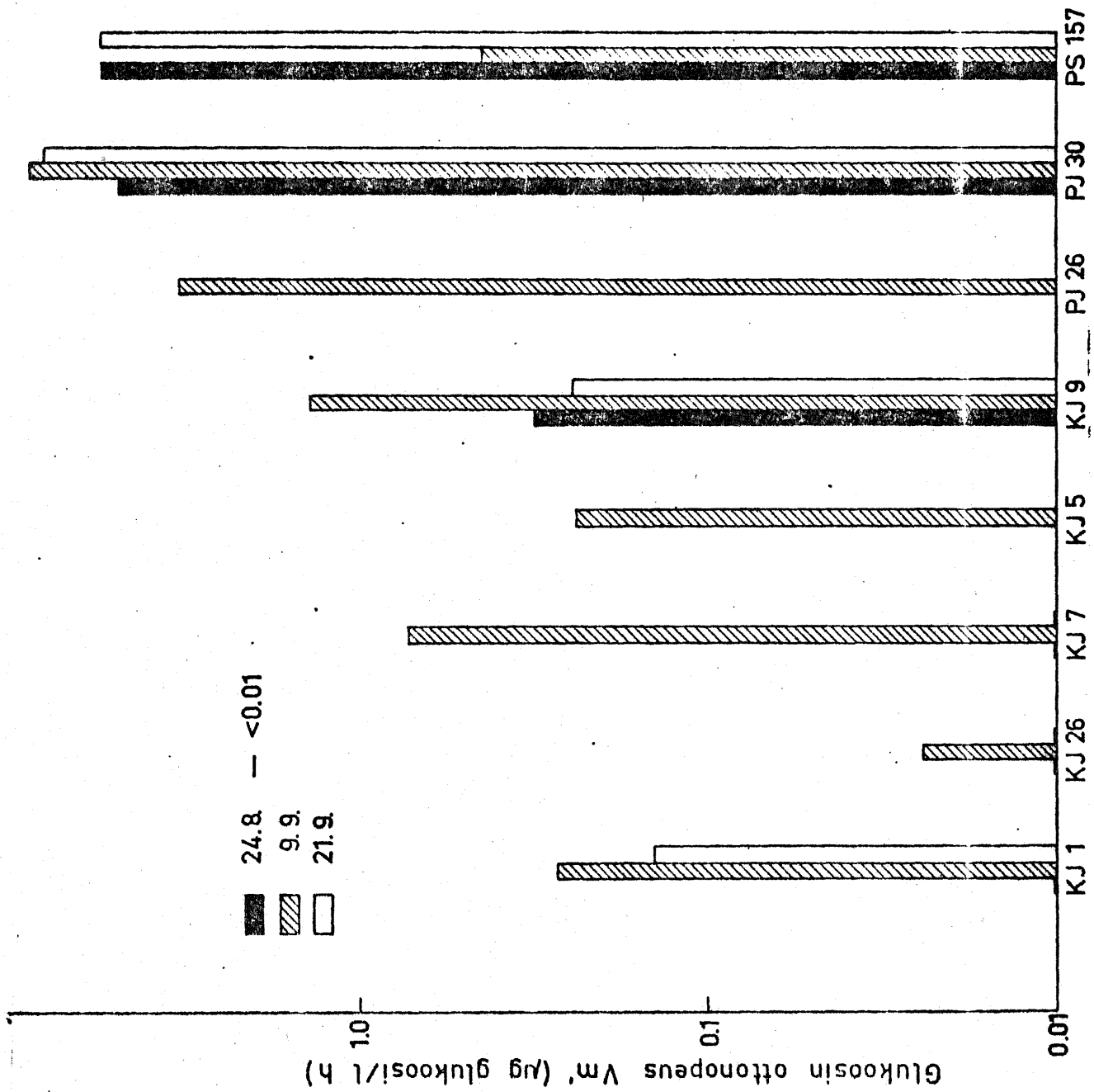
Sellu- ja paperitehtaan jätevesien purkuputken suulla bakteerien glukoosinottoa ei kyetty mittaamaan lainkaan, vaan bakteeritoiminta vaikutti täysin lamaan-tuneelta. Kyseessä olivat joko jäteveden todelliset, hyvin voimakkaat myrkkyvaikutukset tai sitten se, että pisteessä KJ 26 jätevesipitoisuus oli niin suuri, ettei vesi enää sisältänytkaan juuri lainkaan bakteereja. Perustuotantokykyä ei myöskään kyetty mittaamaan KJ 26:ssa, mutta klorofylli a:n pitoisuus oli kuitenkin samansuuruinen kuin Ämmäkoskessa. Näin ollen ainakin perustuotantokyvyn osalta olivat kyseessä joko todelliset myrkkyvaikutukset tai veden alhaisen pH:n vaikutukset, eivätkä pelkästään jäteveden leväpopulaatiota laimentavat vaikutukset. Tämän perusteella voitaisiin olettaa, että jätevedet ovat samalla tavoin lamaan-nuttaneet myös jokiveden bakteeripopulaation.

Havaintopisteessä KJ 7 bakteeritoiminta oli vielä lamaan-tunutta. Glukoosin maksimaalista ottonopeutta ei vielä-kään voitu mitata, ja kiertonopeus ($0,02 \text{ \% h}$) oli selvästi alhaisempi kuin Ämmäkoskessa. Levätkin olivat toipuneet vain jonkin verran jätevesien myrkkyvaikutuksista, sillä perustuotantokyky oli noin $15 \text{ mg C/m}^3 \text{ d}$. Kauempana joen alajuoksulla, pisteessä KJ 9, bakteeritoiminta oli jo selvästi vilkastunut ja ylitti vertailupisteen tason. Glukoosin maksimaalinen ottonopeus oli $0,316 \text{ } \mu\text{g/l h}$, eli suhteellisen korkea. Kiertonopeus ($0,7 \text{ \% h}$) ylitti Ämmäkosken arvon, joten jätevesien bakteeritoimintaa kiihdyttävät vaikutukset alkoi-vat ilmetä havaintopisteessä KJ 9. Levätoiminta oli jo voimakasta, perustuotantokyky $170 \text{ mg/m}^3 \text{ d}$, mutta yhä heikompaa kuin Ämmäkosken vertailupisteessä. Klorofylli a:n pitoisuudet säilyivät tasaisina kaikilla havaintopisteillä.

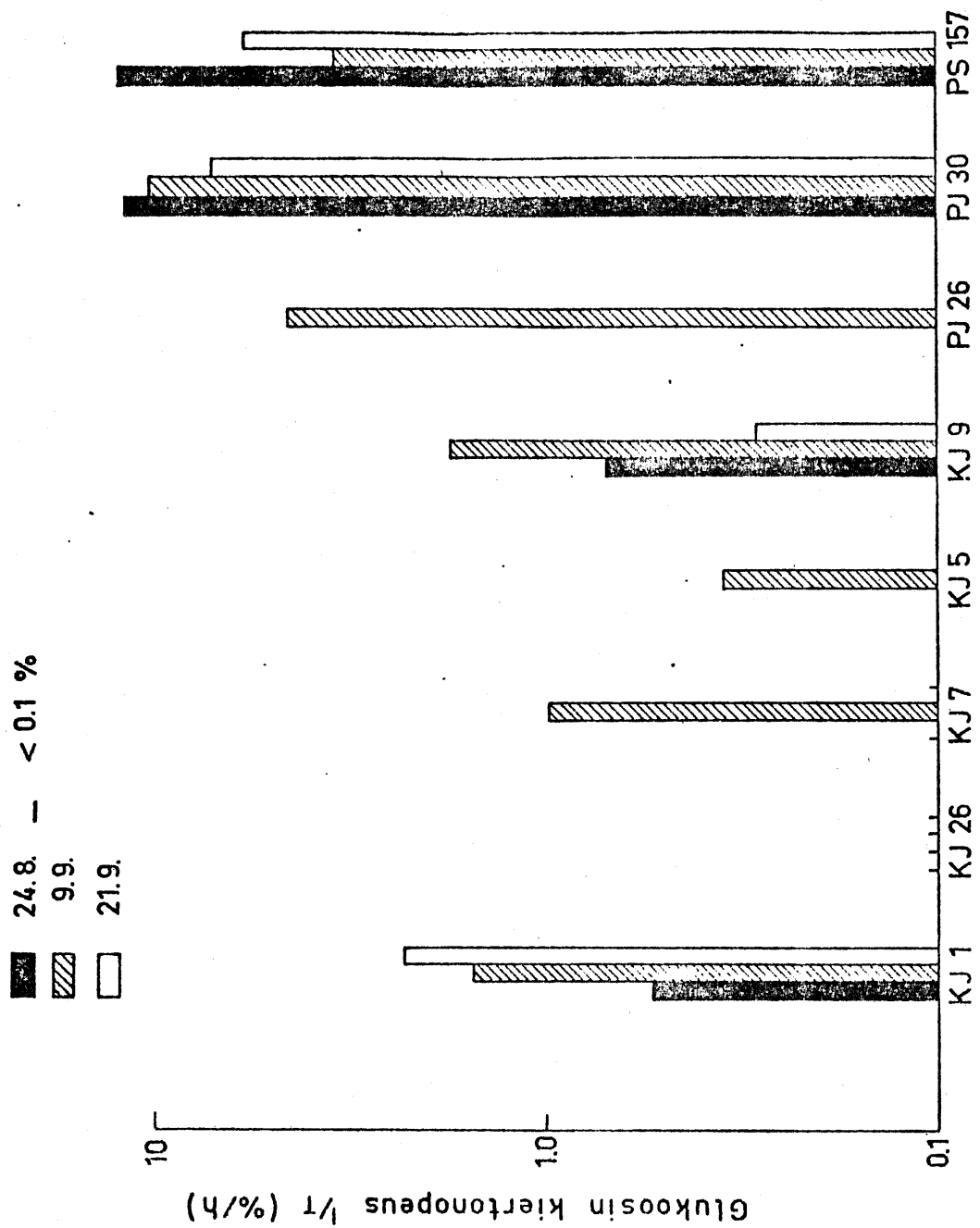
Paltajärvellä bakteeritoiminta oli hyvin vilkasta. Glukoosin ottonopeus oli suuri ($4,9 \text{ } \mu\text{g/l}$), kuten kiertonopeuskin ($11,9 \text{ \% h}$), joka oli peräti 20-kertainen Ämmäkoskessa mitattuun kiertonopeuteen verrattuna. Vaikuttaa siltä, että sellu- ja paperitehtaan jätevesien mahdolliset myrkkyvaikutukset olivat Paltajärvellä kokonaan väistyneet, ja voimakkaasti bakteeritoimintaa kiihdyttävät vaikutukset vallitsivat. Levätoiminta ei kuitenkaan Paltajärvessä ollut erityisen voimakasta, sillä perustuotantokyvyksi mitattiin vain $66 \text{ mg C/m}^3 \text{ d}$.



Kuva 2. Perustuotantokyky tutkimusalueella.



Kuva 3. Glukoosin ottonopeus (V_m) tutkimusalueella.



Kuva 4. Glukoosin kiertonopeus ($1/T$) tutkimusalueella.

Paltaselällä bakteeritoiminta oli edelleen huomattavan vilkasta. Perustuotantokyky ($160 \text{ mg C/m}^3 \text{ d}$) oli voimistunut Paltajärveen verrattuna, mutta ei vielääkään saavuttanut samaa tasoa kuin Ämmäkoskessa.

Toisen havaintokerran (9.9.) tulokset olivat bakteeritoiminnan osalta hyvin samankaltaiset kuin ensimmäisenkin. Vertailualueella Ämmäkoskessa tosin bakteeriaktiivisuus oli suurempaa kuin 24.8. : glukoosin ottonopeus oli suhteellisen suuri, $0,259 \mu\text{g/l d}$, ja kiertonopeus ($1,52 \text{ \%/h}$) kolminkertainen aikaisemmin mitattuun verrattuna. Sen sijaan perustuotantokyky oli alhaisempi, $190 \text{ mg C/m}^3 \text{ d}$, ja klorofyllipitoisuus saman suuruinen.

Sellu- ja paperitehtaan purkuputken suulla (KJ 26) bakteeritoimintaa saattoi tuskin mitata; glukoosin maksimaalinen ottonopeus oli hyvin alhainen ($0,024 \mu\text{g/l h}$). Perustuotantokyky jäi menetelmän tarkkuusrajojen alapuolelle. Ensimmäisestä havaintokerrasta poiketen kuitenkin (24.8.) pisteessä KJ 7 mitattiin voimakasta bakteeri- ja levätoimintaa. Glukoosin maksimaalinen ottonopeus oli suurempi kuin Ämmäkoskessa, ja kiertonopeus ja perustuotantokyky lähes samansuuruisia. Tällä havaintokerralla kaupungin jätevesien voimakas vaikutus oli ilmeisesti levinnyt ulommaksi joelle tai näytteet oli otettu hivenen lähempää kaupungin purkuputkea kuin ensimmäisellä kerralla (vrt. myös pH-arvo). Pienetkin muutokset virtausolosuhteissa tai havaintopaikassa voivat aiheuttaa suuria muutoksia tutkittavan veden laadussa näillä voimakkaasti kuormitetuilla alueilla.

Alemmalla jokiosuudella, pisteessä KJ 5, bakteerien aktiivisuus oli alhaisempi kuin kaupungin jätevesien purkuputken edustalla. Sellu- ja paperitehtaan jätevesillä oli ilmeisen voimakas bakteeritoimintaa lumaannuttava vaikutus vielä tälläkin alueella, sillä sekä glukoosin maksimaalinen ottonopeus että kiertonopeus olivat alhaisemmat kuin Ämmäkoskessa. Myös perustuotantokyky oli alhaisempi kuin Ämmäkoskessa tai pisteessä KJ 7, joten levätoiminta oli vielä selvästi lumaantunutta.

Havaintopisteessä KJ 9 bakteeritoiminta oli huomattavasti vilkastunut. Glukoosin maksimaalinen ottonopeus oli suuri, $1,4 \mu\text{g/l h}$ ja kiertonopeuskin suurempi kuin Ämmäkoskessa. Perustuotantokyky sen sijaan oli edelleen alhaisempaa kuin vertailualueella, eli levätoiminta oli edelleen lumaantunutta. Havainnot olivat näin ollen hyvin saman kaltaiset kuin ensimmäiselläkin havaintokerralla.

Paltajärvessä (havaintopisteet PJ 26 ja PJ 30) bakteeritoiminta oli erittäin voimakasta. Glukoosin maksimaalinen ottonopeus ($3,3$ ja $8,9 \mu\text{g/l h}$) oli monikymmenkertainen vertailualueeseen nähden, ja kiertonopeuskin ($4,54$ ja $10,1 \text{ \%/h}$) n. 3 - 6-kertainen. Perustuotantokyky oli myös korkea, $240 - 230 \text{ mg C/m}^3 \text{ d}$, ja jonkin verran suurempi kuin Ämmäkoskessa. Tässä tapauksessa olivat jäteveden myrkyominaisuudet laimentuneet riittävästi, ja levä- ja bakteeri-

toimintaa kiihdyttävät vaikutukset käyneet hyvin selkeiksi.

Paltaselällä bakteeriaktiivisuus oli jo laskenut Paltajärven huippuarvoista. Ilmeisesti kuormituksen bakteeritoimintaa kiihdyttävät vaikutukset alkoivat täällä jo laimentua. Perustuotantokyky oli kuitenkin edelleen kasvanut ($370 \text{ mg C/m}^3 \text{d}$), joten levien toiminnan palautuminen luonnontasolle vaatii ilmeisesti varsin suuren jätevesien laimentumisen.

Kolmannella tutkimuskerralla (21.9.) ei enää tehty kahdesta edellisestä kerrasta poikkeavia havaintoja. Bakteeri- ja levätoiminta oli lähes täysin pysähdyksissä sellutehtaan purkuputken suulla, ja hyvin alhaista myöskin pisteessä KJ 7. Kaupungin jätevesien aiheuttamaa levä- ja bakteeritoiminnan voimistumista ei tällä kerralla havaittu. Alempana joella, pisteessä KJ 9, bakteerit ja levät olivat jo jonkin verran toipuneet jätevesien voimakkaimmista myrkkyyvaikutuksista, mutta esimerkiksi perustuotantokyky oli vain puolet Ämmäkoskessa mitatusta. Glukoosin maksimaalinen ottonopeus sen sijaan oli suurempi kuin vertailualueella.

Paltajärvässä bakteeritoiminta oli jälleen erittäin voimakasta, mutta perustuotantokyky ei ollut vielä saavuttanut vertailualueen tasoa. Perustuotantokyky voimistui selvästi Paltaselällä, jossa se ylitti Ämmäkosken tason. Bakteeritoiminta oli hieman hitaampaa Paltaselällä kuin Paltajärvässä, joten jätevesien voimakkaimmat vaikutukset ainakin bakteerien kannalta laantuivat Paltaselällä.

3.3 MUUTTUJIEN VÄLISET KORRELAATIOT

Mitattujen fysikaalis-kemiallisten ja biologisten muuttujien välille laskettiin korrelaatiokertoimet (taulukko 4). Ennen korrelaatioiden laskemista tehtiin kuitenkin bakteeriaktiivisuusmuuttujille logaritmuunnos, sillä niiden vaihtelu oli monin verroin suurempaa kuin muiden muuttujien, ja logaritmuunnoksen avulla tätä vaihtelua voitiin tasoittaa.

Hyvin monet fysikaalis-kemialliset muuttujat korreloivat keskenään erittäin merkittävästi. Tällaisia olivat esimerkiksi sameus, kokonaisfosfori- ja lignosulfonaattipitoisuus sekä useat niihin liittyvät muuttujat. Myös kiintoainepitoisuus, veden väri ja sähkönjohtavuus korreloivat erittäin merkittävästi useiden muuttujien, erityisesti edellä mainittujen kanssa. Nämä korkeat korrelaatiokertoimen arvot johtuivat sellu- ja paperitehtaan jätevesien voimakkaasta vaikutuksesta juuri näihin muuttujiin. Kaikki kyseiset muuttujat saivat poikkeuksellisia arvoja purkuputken läheisyydessä (KJ 26), ja ne muuttuivat joen alajuoksulla suhteellisesti samalla tavoin.

	Lämpötila	O ₂ (%)	Sameus	Kiintoaine	Sähkönjohtavuus	Alkaliniteetti	pH	Väri	COD	Kokonais-typpi	Kokonais-fosfori	Ligno-sulfonaatti	Klorofylli a	Perustuotantokyky	Ig 1/T	Ig Vm'	R (%)
Lämpötila	1.000																
O ₂ (%)	0.008	1.000															
Sameus	0.327	-0.640 ^{xx}	1.000														
Kiintoaine	0.339	-0.638 ^{xx}	0.925 ^{xxx}	1.000													
Sähkönjoht.	0.375	-0.597 ^{xx}	0.984 ^{xxx}	0.884 ^{xxx}	1.000												
Alkalinit.	0.500 ^x	0.182	-0.737 ^{xxx}	-0.384	-0.755 ^{xxx}	1.000											
pH	-0.285	0.599 ^{xx}	-0.888 ^{xxx}	-0.876 ^{xxx}	-0.891 ^{xxx}	0.828 ^{xxx}	1.000										
Väri	0.404	-0.864 ^{xxx}	0.890 ^{xxx}	0.811 ^{xxx}	0.835 ^{xxx}	-0.136	-0.814 ^{xxx}	1.000									
COD	0.372	-0.611 ^{xx}	0.514 ^x	0.623 ^{xx}	0.564 ^{xx}	-0.675 ^{xxx}	-0.729 ^{xxx}	0.887 ^{xxx}	1.000								
Kok. N	-0.435 ^x	-0.113	0.357	0.340	0.290	-0.312	-0.326	0.565 ^{xx}	0.148	1.000							
Kok. P	0.300	-0.670 ^{xxx}	0.988 ^{xxx}	0.937 ^{xxx}	0.968 ^{xxx}	-0.558 ^{xx}	-0.925 ^{xxx}	0.904 ^{xxx}	0.606 ^{xx}	0.330	1.000						
Lignos.	0.259	-0.632 ^{xx}	0.904 ^{xxx}	0.959 ^{xxx}	0.868 ^{xxx}	-0.675 ^{xxx}	-0.858 ^{xxx}	0.842 ^{xxx}	0.720 ^{xxx}	0.378	0.922 ^{xxx}	1.000					
Chl a.	-0.177	0.384	0.298	0.166	0.300	-0.199	-0.197	-0.221	-0.073	0.409	0.268	0.155	1.000				
Perust.kyky	-0.257	0.442	-0.617 ^{xx}	-0.669 ^{xxx}	-0.609 ^{xx}	0.631 ^{xx}	0.821 ^{xxx}	-0.727 ^{xxx}	-0.585 ^{xx}	-0.283	-0.650 ^{xx}	-0.627 ^{xx}	0.002	1.000			
IG 1/T	0.077	-0.180	-0.337	-0.248	-0.330	0.473 ^x	0.371	-0.113	-0.314	-0.412	-0.309	-0.345	-0.160	0.277	1.000		
IG Vm'	-0.114	-0.307	-0.333	-0.294	-0.336	0.432	0.346	-0.369	-0.294	-0.396	-0.308	-0.349	-0.467 ^x	0.288	0.900 ^{xxx}	1.000	
R %	0.032	0.340	-0.614 ^{xx}	-0.644 ^{xx}	-0.306	0.039	0.428	-0.358	-0.624 ^{xx}	0.017	-0.626 ^{xx}	-0.644 ^{xx}	0.002	-0.060	0.508 ^x	0.517 ^x	1.000

Taulukko 4. Mitattujen fysikaalis-kemiallisten ja biologisten muuttujien välinen korrelaatio.

x - jokseenkin merkitsevä
xx - merkitsevä
xxx - erittäin merkitsevä

Lämpötila ja kokonaistyyppi eivät juuri korreloineet muiden muuttujien kanssa. Niiden vaihtelu olikin tutkimusalueella ollut suhteellisen vähäistä. Sama koskee biologisista muuttujista bakteerien hengitysosuutta ($R\%$) ja klorofylli a:ta, jonka pitoisuus tutkimusalueella oli hyvin tasainen. Klorofylli a ei korreloinut merkitsevästi edes perustuotantokyvyn kanssa, joka puolestaan vaihteli hyvin voimakkaasti havaintopaikan mukaan. Korrelaation puuttuminen näiden kahden muuttujan välillä, jotka teoriassa liittyvät kiinteästi yhteen, ilmaisee selvästi jäteveden sisältämien myrkyllisten yhdisteiden tai alhaisen pH:n aiheuttaman levätoiminnan inhiboitumisen alueella. Levämassa (klorofylli a) säilyy saman suuruisena koko alueella, mutta sen toimintakyky (perustuotantokyky) on alentunut jätevesien purkualueella.

Perustuotantokyky korreloi merkitsevästi (negatiivisesti) sameuden, kiintoainepitoisuuden, sähkönjohtavuuden, veden värin, COD:n, kokonaisfosforin ja lignosulfonaattipitoisuuden kanssa. Nämä muuttujat saivat suuria arvoja, kun veden jätevesipitoisuus oli suuri, ja samalla perustuotantokyky inhibiatiovaikutuksen vuoksi pieni. Samasta syystä perustuotantokyky korreloi merkitsevästi, mutta positiivisesti pH ja alkaliniteetin kanssa: kun nämä muuttujat saivat korkeita arvoja, oli veden jätevesipitoisuus pieni ja perustuotantokyky puolestaan suuri. Vaikuttaa siltä, että yksinomaan sellu- ja paperitehtaan jätevedet vaikuttivat perustuotantokyvyn suuruuteen tutkimusalueella, eikä muilla tekijöillä kuten asumajätevesillä ja hajakuormituksella ollut siihen huomattavia vaikutuksia. Ainoastaan Palta-selällä on sellu- ja paperitehtaan jätevesien ohella muukin kuormitus saattanut kohottaa perustuotantokyyä, kun jäteveden inhibitiiviset vaikutukset olivat ensin riittävästi laantuneet.

Bakteeriaktiivisuutta kuvaavat muuttujat eivät korreloineet juuri lainkaan mitattujen fysikaalis-kemiallisten muuttujien kanssa. Korrelaatiota ei myöskään ollut perustuotantokyvyn ja bakteeritoiminnan välillä. Tämä merkitsevän tilastollisen korrelaation puuttuminen ei kuitenkaan tarkoita sitä, että näillä muuttujilla ei olisi mitään tekemistä toistensa kanssa. Bakteerien aktiivisuus vaihteli hyvin eri tavoin kuin perustuotantokyky, sillä bakteerit näyttivät toipuvan nopeammin jäteveden myrkkövaikutuksista kuin levät. Alhaisia bakteeriaktiivisuuksia mitattiin paitsi tehtaan purkualueella myös vertailualueella Ämmäkoskessa, jossa jätevetä ilmentävät fysikaalis-kemialliset muuttujat saivat pieniä arvoja. Näin ollen bakteeriaktiivisuusmuuttujien ja fysikaalis-kemiallisten tekijöiden korrelaatio jää myös alhaiseksi.

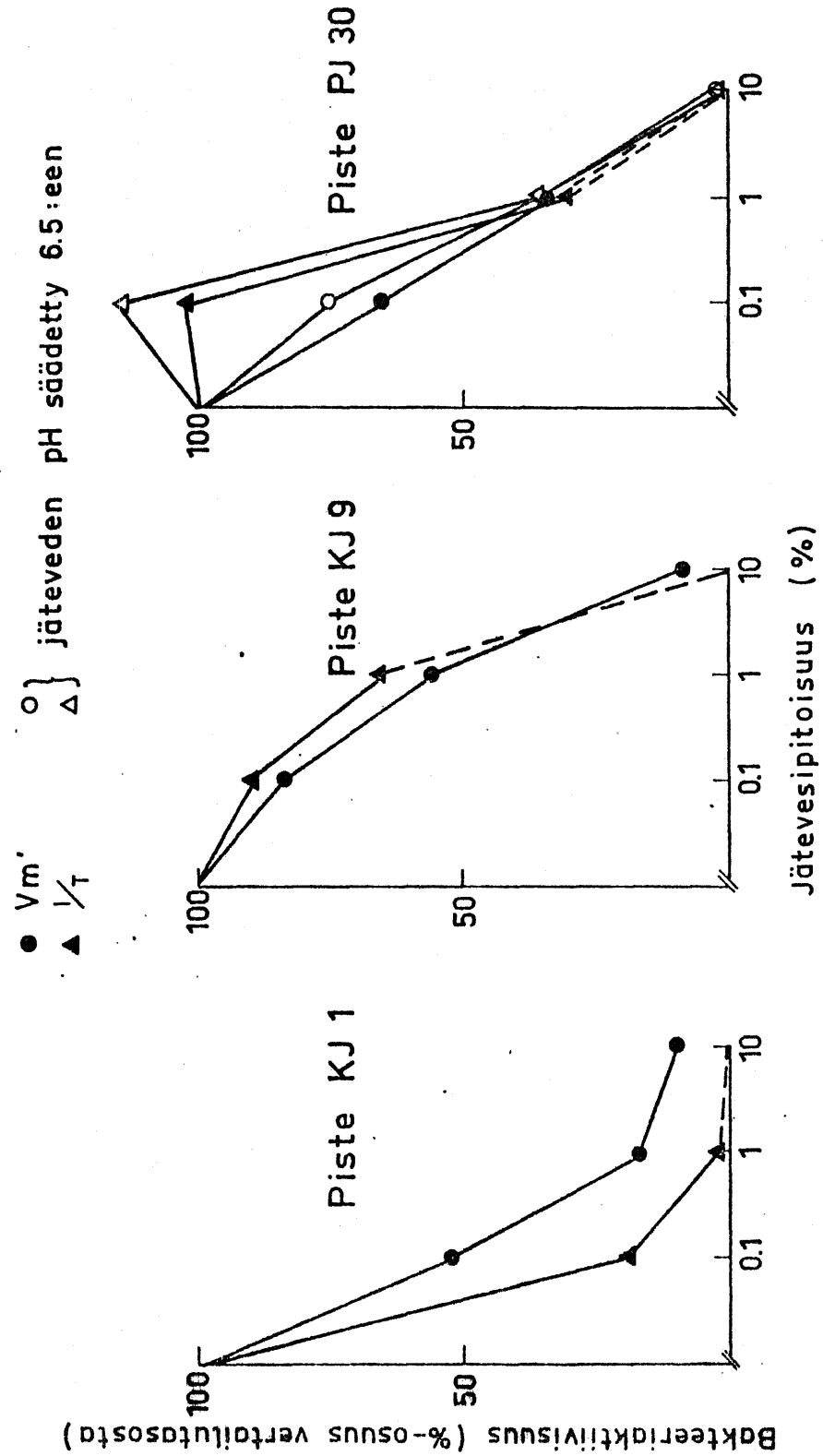
Jätevedellä oli luonnollisesti voimakas vaikutus bakteerien aktiivisuuteen tutkimusalueella, vaikka se ei käynyt ilmi korrelaatioanalyysistä. Yksinkertaiset tilastolliset analyysit eivät aina kykenekään paljastamaan niitä monimutkaisia syy-yhteyksiä, jotka vesistössä vallitsevat. Jäteveden vaikutukset tutkimusalueen bakteeritoimintaan olivat kaksijakoiset: hyvin lähellä purkuputkea bakteeritoiminta lamaanui, mutta jo jonkin verran kauempana jätevesien ravinnevaikutukset kävivät voimakkaimmiksi.

3.4 MYRKYLLISYYSTESTIT

Suoritetuissa myrkyllisyystesteissä Kajaani Oy:n tehtaan jätevesi lamaanutti bakteeritoimintaa hyvin voimakkaasti (kuva 5). Vertailupisteen KJ 1 bakteeritoiminta hidastui jo 0,1 %:n jätevesipitoisuudessa: glukoosin maksimaalinen ottonopeus VM' aleni noin 50 %:iin alkuperäisestä vertailuarvosta (0 % jätevettä), ja kiertonopeus 1/T noin 20 %:iin alkuperäisestä. Suuremmassa jätevesipitoisuudessa, 1 % bakteerien glukoosin ottonopeudesta oli jäljellä alle 20 %, ja glukoosin kiertonopeus oli enää 3 % alkuperäisestä. Väkevimmässä jätevesipitoisuudessa, 10 %, kiertonopeutta ei voitu enää luotettavasti mitata, ja alkuperäisestä glukoosin ottonopeudesta (Vm) oli jäljellä enää vain noin 10 %.

Sellutehtaan jätevesien vaikutusalueella, pisteessä KJ 9, bakteerit näyttivät sietävän jäteveden vaikutuksia hieman paremmin kuin Ämmäkosken (KJ 1) bakteerit. Laimeimmassa jätevesipitoisuudessa bakteeriaktiivisuus oli vielä 85-90 % perustasosta ja 1 %:n jätevesipitoisuudessa glukoosin ottonopeus oli 55 % ja kiertonopeus 65 % alkuperäisestä arvosta. Kuitenkin väkevimmän jätevesipitoisuuden (10 %) vaikutukset olivat yhtä voimakkaat kuin vertailupisteessäkin. Glukoosin kiertonopeutta ei voitu enää mitata lainkaan ja glukosin ottonopeus oli pienentynyt noin 10 %:iin alkuperäisestä.

Paltajärven (PJ 30), jossa bakteeritoiminta oli vesistömittausten mukaan erittäin voimakasta, olivat jätevesiläysien vaikutukset hieman erilaiset kuin kahdessa muussa tutkitussa havaintopisteessä. Laimeimmalla jätevedellä (0,1 %, neutraloimaton) ei ollut vaikutusta glukoosin ottonopeuteen, mutta glukoosin kiertonopeus aleni 65 %:iin alkuperäisestä. Jätevesipitoisuudessa 1 % kuitenkin molemmat bakteeriaktiivisuutta kuvaavat muuttujat olivat pienentyneet saman verran eli noin 30 - 35 %:iin alkuperäisestä. Väkevimmässä jätevesipitoisuudessa, 10 %, kumpaakaan muuttujaa ei voitu enää luotettavasti mitata, ja bakteeritoiminta oli ilmeisesti täysin lamaanutunut.



Kuva 5. Kajaani Oy:n tehtaan jäteveden vaikutukset bakteerien glukoosinottoon. Myrkyllisyystestien tulokset.

Havaintopisteessä PJ 30 kokeiltiin myös pH:n säädön vaikutuksia jäteveden myrkkyminaisuuksiin, Kun jäteveden pH nostettiin alkuperäisestä 2,8:sta 6,5:een, eivät jäteveden vaikutukset kuitenkaan juuri muuttuneet. Pienin jätevesipitoisuus (0,1 %) lisäsi hieman, 10 - 15 %, glukoosin kiertonopeutta alkuperäiseen perustasoon verrattuna. Jätevedellä oli noin 10 % lievemmät vaikutukset glukoosin maksimaaliseen ottonopeuteen, kun sen pH oli säädetty 6,5:een. pH-mittauksissa havaittiin kuitenkin, että 0,1 %:n jätevesilisäyksellä ei ollut vaikutusta näyteveden pH-arvoon, joka oli 5,8. Väkevämmissä jätevesipitoisuuksissa (1 - ja 10 %) ei jäteveden pH:n muutoksella ollut kuitenkaan mitään vaikutusta sen myrkkyminaisuuksiin. Näissä tapauksissa käsittelemättömän jäteveden (pH 2,8) lisäys kuitenkin vaikutti näyteveden pH-arvoon: 1 %:ssa pH laski 5,8:sta 5,5:een ja 10 %:ssa peräti 4,0:aan.

4. T U L O S T E N T A R K A S T E L U

4.1 JÄTEVEDEN MYRKYLLI SYYS

Myrkyllisyystestien mukaan Kajaani Oy:n sulfiittisellu- ja paperitehtaan jätevedet olivat hyvin voimakkaasti bakteeritoimintaa lamaanuttavia. Pahimmassa tapauksessa vaikutukset ilmaantuivat jo jätevesipitoisuuksissa 0,1 - 1 %; tällöin oli kyseessä kuormittamattoman vertailualueen (Ämmäkoski) bakteeristo. Muilla, kuormitetuilla alueilla, voimakkaat vaikutukset ilmaantuivat jätevesipitoisuuden ollessa 1 %.

Kuparinen (1981) on sulfiittisellutehtaan (G.A. Serlachius Oy, Mänttä) jätevesiä tutkiessaan todennut, että laimea 0,1 %:n jätevesipitoisuus saattaa hidastaa kuormittamattomien vesialueiden bakteerien glukoosinottoa. Sen sijaan Lahti (1980) ja Talsi (1981) totesivat tutkimuksissaan, että sulfaattisellutehtaiden (Kaukas Oy, Lappeenranta ja Oy Metsä-Botnia Ab, Kaskinen) jätevedet lamaanuttivat bakteeritoimintaa vasta pitoisuuksissa 1 - 10 % eivätkä vaikutukset olleet lainkaan niin voimakkaita kuin Kajaani Oy:n jätevesillä. Tähän vaikuttaa luonnollisesti se, että Lahden (1980) ja Talsin (1981) tutkimilla tehtailla oli käytössä huomattavasti tehokkaampi jätevesien puhdistusmenettely (ilmastettu lammikko) kuin Kajaani Oy:n tehtaalla. Ilmastetussa lammikossa saattaa hävitä suuri osa jäteveden myrkyllisyydestä (mm. Servizi ja Gordon 1973, Holmbom ja Lehtinen 1980); lisäksi eri tehtaiden jätevesien myrkyllisyyden välillä on muutenkin eroja. Eloranta (1976, 1978) on levätesteissään todennut, että sa-sellutehtaiden jätevedet sisältävät enemmän pysyvästi myrkyllisiä yhdisteitä kuin si-sellutehtaiden ja että jälkimmäisten jätevesien haitallisuus johtuu pääasiallisesti niiden väkevyydestä, huonosta käsittelystä ja alhaisesta pH:sta.

Ämmäkosken vertailualueen bakteerit olivat herkimpiä sellu- ja paperitehtaan jätevesien vaikutuksille. Tämän perusteella vaikuttaa siltä, että purkualueen bakteerit olivat jonkin verran sopeutuneet laimeisiin jätevesipitoisuuksiin. Kovin väkevää jätevettä (10 %) eivät purkualueenkaan bakteerit sietäneet. Yleensä on oletettu, että selluteollisuuden jätevesien purkualueelle muodostuu jätevesivaikutuksiin hyvin sopeutunut bakteeristo, jonka toiminta on hyvin vilkasta (vrt. Sibert ja Brown 1975). Tätä ei kuitenkaan ollut tapahtunut Kajaani Oy:n jätevesien voimakkaamin kuormittamilla alueilla, joissa bakteeritoimintaa ei voitu mitata lainkaan tai se oli muuten selvästi lamaanututta.

Mäntän alapuolisessa vesistössä Kuparinen (1981) totesi, että purkualueen bakteerit sietivät huomattavasti suurempia jätevesilisäyksiä kuin kuormittamattoman vertailualueen bakteerit. Samoin Talsi (1981) havaitsi, että 10 %:n jätevesilisäys ei vaikuttanut purkualueen bakteeritoimintaan, mutta puhtaan merialueen bakteerit lamaanuivat selvästi. Ilmeisesti sopeutumista oli näillä alueilla todella tapahtunut. Kajaaninjoessa sopeutumisilmiö vaikutti vasta kauempana purkupuutkesta, sillä jäteveden voimakkaat myrkkyminaisuudet riittivät täysin lamaanuttamaan bakteeritoiminnan lähimmillä alueilla ja suurissa, 10 %:n jätevesipitoisuuksissa.

Jäteveden pH:n säädöllä ei näyttänyt olevan suurta vaikutusta jäteveden myrkkyminaisuuksiin. Tiedetään kuitenkin, että jäteveden alhainen pH on hyvin tärkeä levien ja kalojen toimintaa lamaanuttava tekijä (mm. Howard ja Walden 1965, Moore ja Love 1977). Yhden kokeen perusteella ei voida tehdä kovin täsmällisiä johtopäätöksiä alhaisen pH:n vaikutuksista bakteeritoimintaan - varsinkin, kun suurimmassakaan tutkimuksessa jätevesipitoisuudessa (10 %) näyteveden pH ei laskenut alle 4:n. Voidaan kuitenkin olettaa, että Kajaani Oy:n sellu- ja paperitehtaan jätevedet sisälsivät bakteeritoimintaa lamaanuttavia yhdisteitä eikä jäteveden alhainen pH ollut ainoa vaikuttava seikka.

Veden vetyionikonsentraatio eli pH vaikuttaa useiden yhdisteiden myrkyllisyyteen. Selluteollisuuden jätevesien sisältämien myrkyllisten yhdisteiden osalta on olemassa jonkin verran ristiriitaista tietoa. Esimerkiksi Leach ja Thakore (1974) ovat kalatesteissään todenneet vapaat hartsihapot (pH 6,4) huomattavasti myrkyllisemmiksi kuin niiden lievästi emäksisissä (pH 7,5) liuoksissa esiintyvät Na-suolat, mutta Mäenpää ym. (1968) ovat vesikirppukokeissaan saaneet täysin päinvastaisia tuloksia. Vapailta hartsihapoilla ei ollut voimakkaita myrkkyyvaikutuksia, kun taas Na-suoloilla niitä selvästi oli. Joka tapauksessa McLeay ym. (1979) totesivat kalakokeissaan, että sa-sellutehtaiden jätevedet olivat vähiten myrkyllisiä pH-alueella 8,5 - 9,5 ja että lähellä neutraali-pH:ta jätevesien vaikutukset olivat huomattavan voimakkaita. Tässä tutkimuksessa

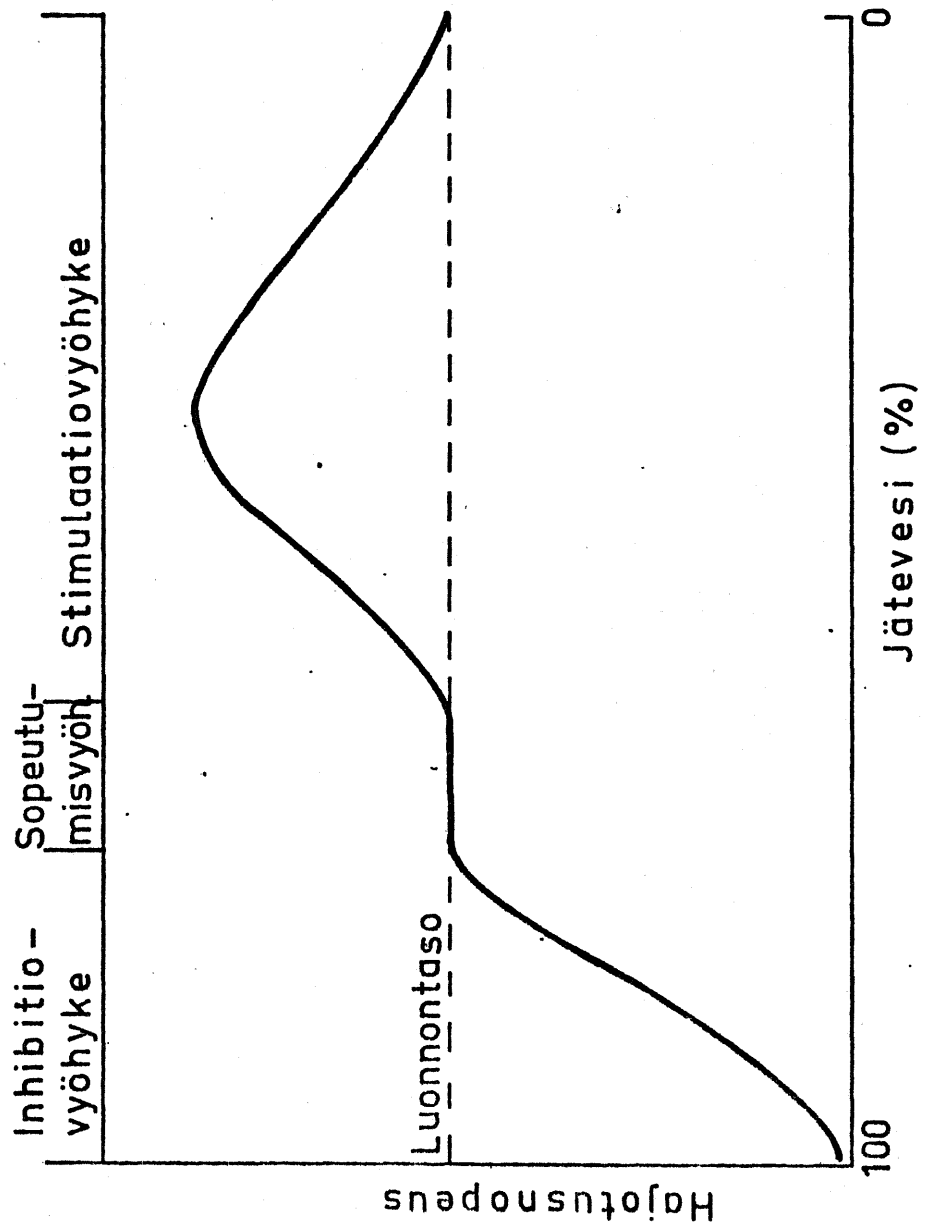
ei kokeiltukaan edellä mainittua vähiten haitallista emäksistä pH-aluetta, vaan pysyteltiin lähellä neutraali-pH:ta.

4.2 JÄTEVEDEN VAIKUTUSTEN LAAJUUS TUTKIMUSALUEELLA

Kajaani Oy:n jätevesien vaikutukset Kajaaninjoen, Paltajärven ja Paltaselän eteläosan bakteeri- ja levätoimintaan olivat hyvin voimakkaat. Bakteerien glukoosinotto ja levien perustuotantokyky oli käytännöllisesti katsoen täysin lamaantunut purkuputken välittömässä läheisyydessä. Perustuotannossa tällainen inhibitiioalue tavataan lähes poikkeuksetta selluteollisuuden jätevesien purkualueella (mm. Lehmusluoto ja Heinonen 1970), ja sen muodostumiseen saattavat jätevesien myrkyllisten yhdisteiden ja alhaisen pH:n ohella vaikuttaa värin aiheuttama tuottavan kerroksen ohentuminen (Stockner ym. 1975). Bakteeritoiminnassa näin voimakasta inhiboitumista ei tietävästi ole havaittu aikaisemmin, ainakaan siitä ei ole olemassa tämän kaltaisia todisteita.

Kuparinen (1981) ei Mäntän alapuolisessa reittivesistössä havainnut bakteeritoiminnan hidastuneen, vaikka jätevesillä oli ollutkin myrkyllisyydesteissä voimakkaasti bakteereja lamaannuttavia vaikutuksia. Tosin tutkimuksen lähin havaintopiste ei sijainnut yhtä lähellä jätevesien purkuputkea kuin tässä Kajaaninjoen tutkimuksessa, mikä luonnollisesti selittää tutkimushavaintojen eroavuutta. Mäntän ja Kajaanin alapuolinen vesistöalue on saman kaltaista siinä mielessä, että molemmissa sekoittumisolosuhteet ovat huonot verrattuna esimerkiksi merialueiden olosuhteisiin. Jätevesien voimakas sekoittuminen ja vaikutusten laimentuminen selittääkin juuri sen, miksi merialueiden tutkimuksissa ei ole bakteeritoiminnan inhibitiovyöhykettä todettu, vaikka havaintoja olisi tehty hyvinkin lähellä jätevesien purkuputkea (Sibert ja Brown 1975, Talsi 1981). Luonnollisesti Kajaaninjoen äärimmäiseen tilanteeseen oli syynä myös se, että myrkkyyvaikutukset todella olivat hyvin voimakkaat jätevesien vähäisen puhdistuksen vuoksi.

Bakteeritoiminnan inhibitiovyöhyke ulottui hieman vaihtelevasti 1 - 2 km:n päähän jätevesien purkuputkesta (havaintopisteet KJ 7 ja KJ 5). Inhibitiovyöhykkeellä käsitetään tässä yhteydessä aluetta, jossa bakteerien glukoosinotto on ollut hitaampaa kuin tehtaan yläpuolisella vertailualueella (kuva 6). Teoreettisen kuvaajan mukaista sopeutusvyöhykettä ei täsmälleen kyetty Kajaaninjoessa paikallistamaan, mutta se sijainnee kapealla kaistaleella havaintopisteiden KJ 7 ja KJ 9 välillä. Havaintopiste KJ 9, joka sijaitsee noin 2,5 km:n etäisyydellä purkuputkesta, kuului selvästi jo alkavaan stimulaatiovyöhykkeeseen. Siellä bakteerien glukoosinotto (hajotustoiminta) oli yleensä voimakkaampaa kuin vertailualueella Ämmäkoskessa.



Kuva 6. Selluteollisuuden jätevesien vaikutukset purkualueen bakteeritoimintaan Kuparisen (1981) mukaan.

Paltajärvi kuuluu erittäin voimakkaaseen hajotustoiminnan stimulaatiovyöhykkeeseen. Paltajärvessä bakteerien glukosinotto oli erittäin voimakasta, mutta se heikkeni jo hie-
man Paltaselän auetessa. Tämän vuoksi Paltaselkä kuuluukin jo kuvaajan mukaiseen stimulaatiovyöhykkeen laantumis-
vaiheeseen.

Kaupungin jätevesien vaikutukset olivat vähäiset tehtaan jätevesien inhibitio- ja stimulaatiovaikutusten rinnalla. Kaupungin typpi- ja fosforikuormitus ovat huomattavat (vrt. taulukko 1), mutta näiden bakteeritoimintaa stimuloiva vaikutus peittyi lähes täysin tehtaan inhibitiio-
vaikutusten alle. Riittävän lähellä kaupungin jätevesien purku-
putkea tosin bakteeritoiminta oli jonkin verran voimistunut.

Levätoiminnan vaihtelua voitaisiin esittää samanlaisen teo-
reettisen kuvaajan avulla kuin bakteerien hajotustoimintaa-
kin. Levätoiminnan inhibitiovyöhyke ulottui Kajaaninjoessa
kuitenkin huomattavasti kauemmas kuin bakteeritoiminnan
vastaava vyöhyke. Perustuotantokyky oli selvästi lamaan-
nutta vielä 2,5 km:n päässä jätevesien purkuputkesta, pis-
teillä KJ 7 ja KJ 9 saakka. Näissä havaintopisteissä veden
pH:kin oli vielä selvästi alhaisempi kuin Ämmäkoskessa,
eli 4,7 - 5,0 ja 5,7 - 6,0, joten levätoiminnan vähäisyys
on varsin hyvin ymmärrettävissä.

Levät toipuivat hitaammin jätevesien haittavaikutuksista
kuin bakteerit. Pahimmillaan inhibitiovyöhyke ulottui
Paltajärvelle saakka, mikä on jo aikaisemminkin todettu
(Vesihallitus 1977). Perustuotannon stimulaatiovyöhyke
ilmeni tässä tutkimuksessa vasta Paltaselällä, ja oletetta-
vasti se jatkui vielä pitkälle tutkimusalueen ulkopuolelle.

4.3 BAKTEERIAKTIIVISUUDEN MITTAUSMENETELMIEN ARVIOINTI

Kummankaan käytetyn menetelmän herkkyys ei riittänyt mittaa-
maan bakteeriaktiivisuutta jätevesien purkuputken välittö-
mässä läheisyydessä. Tämä ei kuitenkaan ole osoitus mene-
telmän karkeudesta, sillä varsinkin luonnontasomenetelmän
avulla ³(H-glukoosi) on kyetty mittaamaan hyvinkin alhaisia
bakteeriaktiivisuuksia luonnontilaisilla vesistöalueilla
(mm. Azam ja Holm-Hansen 1973). Bakteerien glukosinotto
ja oletettavasti muukin bakteeritoiminta oli todella lamaan-
tunut jätevesien purkualueella.

Myrkyllisyystesteissä 10 %:n jätevesilisäys aiheutti sen,
että glukosinottoa ei voitu enää luotettavasti mitata.
Tässäkään tapauksessa ei ole kysymyksessä menetelmän kar-
keus, vaan todellinen jäteveden voimakas vaikutus bakteeri-
toimintaan. Työssä käytettyä radioaktiivisesti leimatun
glukoosin ottoon perustuvaa menetelmää on myös verrattu
esimerkiksi bakteerien kasvua mittaaviin menetelmiin ja
todettu selvästi herkemmäksi havaitsemaan lieviäkin myrky-
vaikutuksia (Albright ym. 1972).

^3H -leimatun glukoosin käyttö (luonnontasomenetelmä) on suositeltavampaa silloin, kun bakteeriaktiivisuudet ovat hyvin alhaisia. ^3H -yhdisteiden absoluuttinen aktiivisuus on huomattavasti suurempi kuin ^{14}C -leimattujen, joten niiden avulla saadaan luetettavampia mittaustuloksia näytteistä, joissa bakteeritoiminta on vähäistä (vrt. Lahti ja Talsi 1982). Myrkyllisyystesteissä luonnontasomenetelmään liittyy kuitenkin eräs ongelma: jäteveden mukana näytteeseen saattaa joutua niin runsaasti glukoosia, että se vaikuttaa mitattuun glukoosin kiertonopeuteen (vrt. Talsi 1981). Tämä ongelma on otettava huomioon varsinkin tämän kaltaisissa myrkyllisyyskokeissa, joissa käytetään runsaasti orgaanista ainesta sisältävää jätevetä.

Tässä tutkimuksessa tuli kyllästystasomenetelmän kohdalla esiin odottamattomia vaikeuksia. Riittävän suurta lisäystasoa ei saavutettu, joten havaintotulosten "oikeellisuus" absoluuttinen lukuarvo, on kyseenalainen. Kyllästystaso arvioitiin aluksi merialueilla suoritettujen tutkimusten mukaan (Talsi ja Rekolainen 1982, Lahti ja Talsi 1982), mutta erilliskokeissa kävi ilmi, ettei lisäystaso ollutkaan riittävän suuri. Kajaaninjoen olosuhteet olivat niin poikkeukselliset, että veden glukoosipitoisuus oli huomattavasti ennakoitua suurempi. Tämän tutkimuksen Vm'-arvot eivät olekaan vertailukelpoisia muilta alueilta tehtyjen havaintojen kanssa, vaikka keskenään niitä voidaankin riittävän luotettavasti vertailla. Joka tapauksessa alueelta mitatut (Paltajärvi) Vm'-arvot olivat poikkeuksellisen suuria, sillä riittävän suuri glukoosinlisäys olisi itse asiassa vain kasvattanut nyt mitattuja arvoja.

T I I V I S T E L M Ä

Selluteollisuuden jätevesillä on todettu olevan sekä bakteeritoimintaa lamaanuttavia että kiihdyttäviä vaikutuksia. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, millä tavoin Kajaani Oy:n sulfiittisellu- ja paperitehtaan jätevedet vaikuttavat purkuvesistönä toimivan Kajaaninjoen bakteeri- ja levätoimintaan. Työssä, joka tehtiin elokuusta - syyskuun aikana 1981, pyrittiin erityisesti selvittämään jätevesien myrkkyyvaikutuksia ja niiden laajuutta vesistössä.

Vesistön levätoimintaa tutkittiin perustuotantokykymittauksen avulla ja bakteeritoimintaa puolestaan mittaamalla radioaktiivisesti leimatun (^3H ja ^{14}C) glukosin sitoutumista bakteerisoluihin. Vesistömittausten lisäksi bakteereilla tehtiin erityinen myrkyllisyystesti, jossa tehtaan jätevettä lisättiin luonnonvesinäytteisiin erilaisina pitoisuuksina (10-, 1- ja 0,1 %).

Jäteveden myrkkyyvaikutukset osoittautuivat merkittäviksi. Pahimmassa tapauksessa 0,1 %:n jätevesipitoisuus riitti lamaanuttamaan bakteerien glukosinottoa: tällöin myrkyllisyystesti tehtiin puhtaan vertailualueen, Ämmäkosken, bakteeristolla. Varsinaisen purkualueen bakteerit sietivät jätevettä jonkin verran paremmin, ja jäteveden myrkkyyvaikutukset ilmaantuivat vasta pitoisuudessa 1 %. Kajaaninjoen alajuoksun bakteeristo oli ilmeisesti jonkin verran sopeutunutta jätevesien vaikutuksiin. Myrkyllisyystesteissä 10 %:n jätevesipitoisuus osoittautui hyvin voimakkaasti bakteeritoimintaa lamaanuttavaksi, olivatpa tutkittavat bakteerit peräisin vertailualueelta tai tehtaan purkualueelta. Jäteveden pH:n säädöllä ei ollut suurta vaikutusta jäteveden myrkkyyominaisuuksiin, joten jätevesi oletettavasti sisältää bakteereille haitallisia orgaanisia tai epäorgaanisia yhdisteitä.

Purkuvesistön tila tehtaan välittömässä läheisyydessä oli tämän tutkimuksen tulosten perusteella hyvin huono. Levätoimintaa ei kyetty mittaamaan juuri lainkaan, joten jätevesien purkualueelle on muodostunut voimakas inhibitioalue. Bakteerien toiminta oli ilmeisesti myös täysin lamaanunut, sillä glukosinottoa ei kyetty luotettavasti mittaamaan. Näin voimakasta bakteeritoiminnan lamaanumista ei toistaiseksi ole havaittu muilla alueilla, joilla selluteollisuuden jätevesien vaikutuksia on näillä menetelmillä mitattu.

Jätevesien bakteeritoimintaa lamaanuttavat vaikutukset hävisivät melko nopeasti jätevesien laimentuessa jokiveteen. Bakteerien glukosinotto oli erittäin voimakasta Kajaaninjoen alajuoksulla, Paltajärvessä ja vielä Paltaselälläkin. Laimentuneet jätevedet vaikuttivat siis bakteeritoimintaa kiihdyttävästi. Levätoiminnan inhibitioalue ulottui kauemmas tehtaasta kuin bakteeritoiminnan inhibitioalue, ja jätevesien rehevöittävät vaikutukset ilmenivät levien kohdalla vasta Paltajärvellä tai pikemminkin Paltaselällä.

K I R J A L L I S U U S L U E T T E L O

- Albright L.J., Wentworth J.W. & Wilson E.M. 1972. Technique for measuring metallic salt effects upon the indigenous heterotrophic mickroflora of a natural water. *Water Res.* 6 : 1589-1596.
- Azam F. & Holm-Hansen O. 1973. Use of tritiated substrates in the study of heterotrophy in seawater. *Mar. Biol.* 23 : 191-196.
- Eloranta V. 1976. Levätestit selluloosateollisuuden prosessi- ja pääkanaalijätevesien sekä eräiden limantorjunta-aineiden vaikutusten selvittämisessä. Jyväskylän yliopiston biologian laitoksen tiedonantoja 4. 19 s. Jyväskylä.
- 1978. Effects of different process wastes and main sewer effluents from pulp mills on growth and production of *Ankistrodesmus falcatus* var. *acicularis* (Chlorophyta). *Mitt. Intern. Ver. Limnol.* 21 : 342-351.
- Erkomaa K. & Mäkinen I. 1975. Vesihallinnon vesitutkimuksissa käytettävistä analyysimenetelmistä. Vesihallituksen tiedotuksia 85. 41 s. Helsinki.
- Mäkinen I. & Sandman O. 1977. Vesiviranomaisen ja julkisen valvonnan alaisten vesitutkimuslaitosten fysikaaliset ja kemialliset analyysimenetelmät. Vesihallituksen tiedotuksia 121. Helsinki.
- Holmbom B.A. 1980. A procedure for analysis of toxic compounds in pulp and paper mill waste waters. *Paperi ja Puu* 62 : 523 - 531.
- & Lehtinen K-J. 1980. Acute toxicity to fish of kraft pulp mill waste waters. *Paperi ja Puu* 62 : 673 - 684.
- Howard T.E. & Walden C.C. 1965. Pollution and toxicity characteristics of kraft pulp mill effluents. *TAPPI* 48 : 136 - 141.
- Kuparinen J. 1980. Heterotrofisten bakteerien aineenvaihdunta-aktiivisuuden hyväksikäyttö puunjalostusteollisuuden jätevesien tarkkailussa. Vesihallituksen tiedotuksia 189. 61 s. Helsinki.
- 1981. Sulfiittiselluloosatehtaan jätevesien ja eräiden raskasmetalli- ja orgaanisten yhdisteiden vaikutus vesistön bakteeritoimintaan. Vesihallituksen tiedotuksia 204. 53 s. Helsinki.

- Kuparinen J. & Uusi-Rauva A. 1980. A simplified method to measure respiration rates of aerobic heterotrophic populations. *Hydrobiologia* 75 : 113 - 115.
- Lahti K. 1980. Eräiden bakteeri- ja levämyrkyllisyydestien vertailu puunjalostusteollisuuden jätevedellä. Pro gradu-työ. Helsingin yliopiston limnologian laitos. 97 s.
- & Talsi T. 1982. (painossa). Rautaruukki Oy:n Raahen tehtaiden vaikutukset merialueen bakteeri- ja levätoimintaan. Vesihallituksen monistesarja 1982.
- Leach J.M. & Thakore A.N. 1974. Isolation of the toxic constituents of kraft pulp mill effluent. CPAR Rep. 11-4. Can. For. Serv. Ottawa.
- Lehmusluoto P.O. & Heinonen P. 1970. Eräiden jätevesien vaikutus Saimaan perustuotantoon. *Vesi* 4: 1-8.
- McLeay D.J., Walden C.C. & Munro J.R. 1979. Effect of pH **on toxicity** of **kraft** pulp and paper mill effluent to salmonid fish in fresh and seawater. *Water Res.* 13: 249 - 254.
- Moore J.E. & Love R.J. 1977. Effect of a pulp and paper mill effluent on the productivity of periphyton and phytoplankton. *J. Fish. Res. Board Can.* 34: 856 - 862.
- Mäenpää R., Hynninen P. & Tikka J. 1968. On the occurrence of abietic and pimaric acid type resin acids in the effluents of sulphite and sulphate pulp mills. *Paperi ja Puu* 50: 143 - 150.
- Servizi J.A. & Gordon R.W. 1973. Detoxification of kraft pulp mill effluent by an aerated lagoon. *Pulp Pap. Mag. Can.* 74 : T295 - 302.
- Sibert J. & Brown T.J. 1975. Characteristics and potential significance of heterotrophic activity in a polluted fjord estuary. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 19 : 97 - 104.
- Stockner J.G., Cliff D.D. & Munro K. 1975. The effects of pulp mill effluent on phytoplankton production in coastal waters of British Columbia. *Environ Can. Fish. Mar. Res. Techn. Rep.* 578. 99 p.
- Talsi T. 1981. Bakteerien glukoosinotto selluteollisuuden jätevesien vaikutusten arviointimenetelmänä. Vesihallituksen monistesarja 1981 : 83. 97 s.

Talsi T. & Rekolainen S. 1982. Bakteerien glukoosinotto selluteollisuuden jätevesien vaikutusten ja leviämisen seurannassa. Vesihallituksen tiedotuksia 218. 51 s. Helsinki.

Vesihallitus 1977. Oulujoen vesistön vesien käytön kokonaissuunnitelma. Osat I, II ja III. Vesihallituksen tiedotuksia 125. Helsinki.

Vesihallitus 1980. Hydrologinen vuosikirja 1976 - 1977. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 35. 193 s. Helsinki.

